心理科学进展 2020, Vol. 28, No. 11, 1853–1864
Advances in Psychological Science
https://dx.doi.org/10.3724/SP.J.1042.2020.01853

·研究前沿(Regular Articles)·

时间信息加工与信息加工时间特性双视角下的重要时间参数及其证据*

尹华站[1,2,3] 崔晓冰[1,2] 白幼玲[1,2] 曹格格[1,2,3] 邓靖歆[1,2,3] 李 丹[1,2]

([1]湖南师范大学教育科学学院; [2]湖南师范大学认知与人类行为湖南省重点实验室, 长沙 410081)
([3]湖南省妇女研究会, 长沙 410011)

摘 要 时间既是人类信息加工的对象, 也是(非时间)信息加工的制约因素。数十毫秒至数秒之间的时间加工与人类日常生活关联紧密, 譬如主观计时、演奏及言语等活动。根据以往文献分析可知, 在该时间区域内, 20~60 ms、1/3~1 s、2~3 s 是研究者关注的重要时间参数, 但是支持这些参数的证据尚存分歧。首先从“时间信息加工”和“信息加工的时间特性”的视角介绍时间参数的基本观点及其提出背景, 然后基于“时间信息加工”视角从行为学研究、脑损伤研究、神经药理学研究, 脑电研究、脑成像研究、经颅磁刺激研究、经颅直流电刺激研究等领域介评了 1/3~1 s 和 2~3 s 分界区域的证据, 接着基于“信息加工的时间特性”视角从时序知觉阈限研究、感觉运动同步研究、主观节奏研究、言语行为研究、知觉逆转研究、返回抑制研究及失匹配负波研究等领域介评了 20~60 ms 和 2~3 s 时间窗口的证据。未来研究既要注意构建基于分界区域与时间窗口的更强解释力的理论假说, 也要厘清分界区域与时间窗口的联系与区别。

关键词 时间信息加工, 信息加工时间特性, 时间参数, 分界区域, 时间窗口
分类号 B842

1 引言

2005 年 7 月, 在庆祝 *Science* 创刊 125 周年之际, 该刊杂志社公布了 125 个最具挑战性的科学问题, 其中第 35 个问题是“时间为何不同于其他维度？”, 这一定程度上推动“时间信息的本质是什么”逐渐成为研究者关注的科学问题之一。Berle 和 Bonnet (1999)曾指出, 时间既是人类信息加工的对象, 也是影响非时间信息加工的因素。前者以探讨时间信息加工机制为主要目标, 被称为时间信息加工视角(Temporal information processing, 简称 TIP); 后者以考察时间因素如何影响非时间加工的机制为主要目标, 被称为信息加工时间特性视角(Temporal processing of information, 简称 TPI)。这种“双视角”的区分为后续研究厘清时间因素在人类认知中的作用机制奠定初步基础。据以往文献可知, 20~60 ms、1/3~1 s、2~3 s 可能是区分不同时距作用机制的重要时间参数, 对这些参数的介评也散见于各篇文献之中(王余娟 等, 2008; 尹华站, 2013; 尹华站 等, 2010)。近 5 年来, 又陆续涌现大量行为学和神经科学证据(Droit-Valet & Hale, 2019; Rammsayer & Manichean, 2018; White, 2017, 2018)。因此, 本文基于 TIP 和 TPI 视角对时间参数的新旧证据进一步介评, 并尝试提出初步理论假说和相关设想, 这不仅帮助研究者在以往综述基础上进一步认识双视角下的时间作用机制, 而且为应用时间加工研究成果到最新实践领域, 譬如人工智能开发等方面提供指导。

2 时间参数的基本观点及其提出背景

基于 TIP 和 TPI 视角, 时间参数包括分界区

收稿日期: 2020-02-24
* 国家自然科学基金面上项目(31671125)、教育部人文社科基金青年项目(16XJC190002)、湖南师范大学人才科研启动项目(2018RC3482)资助。
通信作者: 李丹, E-mail: Lidantina@163.com

域(亦称为分界点)和时间窗口等。所谓分界区域(点)主要指区分不同时距加工机制的时间位置(陈有国, 2010; 尹华站 等, 2010), 具体而言, 就是随着加工时距长度的增加, 在某一个区域(点), 时距加工机制会发生变化, 而这个转折位置就是分界区域(点); 时间窗口主要指影响非时间信息进行整合性加工的时间限度(Pöppel, 1997, 2009; Pöppel et al., 2011; 尹华站, 2013; Pöppel & Bao, 2014), 具体而言, 就是在一系列离散事件信息加工中, 会存在某一个时间限度制约信息加工, 而这个限度就是时间窗口。迄今, 关于分界区域(点)和时间窗口均有一些理论观点。基于 TIP 视角, 研究者倾向于通过某一个分界区域或者分界点区分不同加工机制, 譬如, 1/3 s, 1/2 s、1 s 及平均 2~3 s 等分界区域(点)。最早关于时距加工机制分界问题的观点可以追溯到 19 世纪末叶。自科学心理学诞生以来, 研究者就开始研究“何为时间信息加工本质? ”这一基本问题。譬如, Münsterberg (1889)认为 1/3 s 以下能被直接感知, 1/3 s 以上则需高级心理过程重构。随后在经历传统实验研究的重视之后, 时间心理研究在 20 世纪 20~60 年代陷入低谷, 而后又伴随认知心理学诞生而重新兴起。Michon (1985)区分出 500 ms 以下属自动化计时, 快速而平行, 不易受认知控制调节; 500 ms 以上属控制性计时, 为认知控制所调节。与此同时, Fraisse (1984)将时距加工区分为 2~3 s 以下的时距知觉(perception of duration)和 2~3s 以上的时距估计(estimation of duration), 前者可以直接知觉, 后者需要记忆重构。Lewis 和 Miall (2003a)基于脑成像研究的元分析将时距加工区分为 1s 以下自动加工系统和 1s 以上认知控制系统。总之, TIP 视角主要关注分界区域(点)会将不同长度时距加工区分为不同机制。1/3 s、1/2 s、1 s、2~3 s 等时间参数是可能的分界区域(点)。

基于 TPI 视角的时间心理研究探索始于 19 世纪中叶。1860 年, Baer 提出“心理的瞬间”概念。1865 年, Mach 在《感觉的分析》中有专章论述“时间感”概念。1890 年, James 在《心理学原理》一书最早系统阐述了心理学意义上的“时间知觉”。1984 年, Fraisse 提出了“时间知觉”这一概念, 又称为“知觉到现在”, 并指出其时限不超过 5 s, 平均在 2~3 s。人类大脑存在一个内源性计时装置, 它以神经振荡过程为基础产生周期性的时间单元, 在这一时间单元内会自动整合离散事件成一个整体。为了解释这一过程, Pöppel (1997, 2009)提出了时间知觉层级周期模型。该模型假定时间知觉受大脑中两个独立时间加工机制控制。第一个系统是周期为 20~60 ms, 平均为 30 ms 的高频系统。刺激引起的主观感知触发了周期性振荡过程使之与刺激的出现和消失同步化, 要确认不同刺激必须确保它们分别落在不同振荡周期中, 每秒只有大约 30 个识别机会和选择点, 因此并不是随时都能对刺激进行反应。这个平均周期为 30 ms 的“时间窗”旨在构建独立心理事件, 是人类加工信息的初级整合单元。第二个系统是处理几秒以内系列事件的低频系统, 它将连续事件整合成知觉和动作的单元, 这种分割基于某种自动化、前语义的整合过程, 不受加工内容影响, 该低频系统就是“知觉到的现在”的基础, 周期平均为 2~3 s。在这个时间限度内, 不仅可以获得“现在感”, 同时它也提供了意识活动时间平台。虽然该模型说明了时间整合过程的前语义、自动化特点, 但没揭示其具体内涵, 也没揭示时间整合如何产生出“主观现在”的过程机制。Montemayor 和 Wittmann (2014)认为“主观现在”有三个水平: 第一个是事件的同时性, 第二个是经验的现在, 第三个是包含叙事自我的心理现在。第二个水平则对应于 Pöppel 的“时间窗口”。Montemayor 等(2014)提出“主观现在”运行机制是: 一旦将一组内容统一到单一事件体验中, 这种体验会主观地表现为一种独特意识片段, 与其他经历相互影响。总而言之, 20~60 ms (平均 30 ms)和 2~3 s 是知觉离散客观事件, 并将多个事件整合为整体的不同层级的时间参数。由此可见, 从 TIP 和 TPI 视角来看时间参数的基本观点是基于不同的学界背景而提出的, 基本内涵也存在差异。从 TIP 来看, 1/3 s、1/2 s、1 s、2~3 s 等时间参数主要是区分不同时距加工机制的分界区域(点), 而从 TPI 来看, 20~60 ms 和 2~3 s 时间参数主要是非时间加工受到时间因素限制的时间窗口。

3 时间参数的证据介评

根据上述观点, 在人类时间加工或者认知加工的时间维度上有一些时间参数会区分时距加工存在不同机制或者认知加工存在不同的时间限度。然而, 关于这些时间参数(分界区域和时间窗

口)的证据仍存分歧。

3.1　TIP 视角下分界区域的证据介评

据以往观点可知, 从数十毫秒至数秒之间可能存在两个分界区域。第一个分界区域(1/3~1 s)主要是将时距加工区分为感觉自动计时和认知控制计时(Lewis & Mall, 2003a; Mic hon, 1985; Münsterberg, 1889)。第二个分界区域(2~3 s)主要是将时距加工区分为时距知觉和时距估计(Fraise, 1984)。下文将分别介绍两个分界区域的证据, 然后再对相应证据进行简评。

第一, 1/3~1 s 分界区域的证据。大量研究从 Münsterberg (1889)、Michon (1985)、Lewis 和 Mall (2003a)的观点出发, 预测某分界区域以下与以上的加工具有不同机制: 感觉自动计时系统和认知控制计时系统。这些研究试图通过比较不同长度时距加工在行为学、神经药理学、脑电及脑成像研究中的表现来给予证明。Rammsayer 和 Lima (1991)、Rammsayer 和 Ulirich (2011)及尹华站等(2017)分别采用单词学习任务、精细性复述任务及心算任务与时距加工相结合的双任务范式, 考察了 50 ms (100 ms)与 1 s 加工在不同认知负荷条件下的表现, 结果发现次要任务对短时距和长时距加工出现选择性影响, 支持了感觉自动计时与认知控制计时的分离。后来, Rammsayer 等(2015)与 Rammsayer 和 Manichean (2018)基于 Stauffer 等(2012)的逻辑, 尝试通过 50 ms 和 1 s 加工中通道效应的选择性出现来验证两种计时系统假说, 结果发现 50 ms 加工的视听通道效应显著大于 1 s 加工的视听通道效应, 并且还发现在进一步控制通道变量之后, 1 s 加工中的视听通道效应消失, 结果也支持了两种计时系统假说。此外, Rammsayer 和 Troche (2014)采用验证性因素分析方法探讨 50 ms 和 1 s 的加工机制, 结果同样支持了两种计时系统假说。唯一例外的是 Rammsayer 和 Ulrich (2005)采用双任务范式考察心算任务、记忆搜索任务及视空间记忆任务加工对 100 ms 和 1 s 加工的选择性影响, 却发现不管何种任务, 对 100 ms 和 1 s 加工的影响趋势一致。此外, 神经科学研究也试图为两种计时系统假说提供证据。张志杰等(2007)采用脑电技术记录了完成时距两分任务(400 ms 和 1600 ms)中脑电时程特征, 结果支持 400 ms 与 1600 ms 具有不同加工机制。陈有国等(2007)采用脑电技术记录了双任务过程中注意共享效应, 结果表明 300 ms 以上加工可能为认知控制计时机制, 陈有国等(2008)在一篇神经科学研究综述中进一步论述了两种计时系统的观点。Rammsayer (2009)采用神经药理学研究也发现了前额皮层的认知控制计时系统与皮层下结构的自动化计时的分离。Lewis 和 Mall (2003a)基于脑成像研究的元分析结果将时距加工区分为 1 s 以下自动加工系统和 1 s 以上认知控制系统。Nani 等(2019)也对脑成像研究结果进行元分析, 结果发现 1 s 以下加工与皮层下结构激活相关, 可能涉及自动化计时系统, 而 1 s 以上加工与皮层区域激活相关, 可能涉及认知控制计时系统。

第二, 2~3 s 分界区域的证据。大量研究从 Fraisse (1984)的观点出发, 预测 2~3 s 以下与以上时距加工具有不同机制, 2~3 s 以下不受认知资源(注意和工作记忆)调节, 具有跨通道非特异性, 而 2~3 s 以上受认知资源调节, 具有通道特异性。目前研究证据主要集中在三条思路: 其一, 通过认知资源、视听通道和目标时距对时距加工影响的交互效应来推断分界区域。譬如, Szelag 等(2002)、Ulbrich 等(2007)及尹华站等(2016)分别以 6~14 岁儿童、21~84 岁和 19~35 岁成人为被试考察了认知能力(工作记忆能力)、通道及时距长度对时距加工的影响, 结果发现 2~3 s 以下加工不受通道和认知能力的影响, 而 2~3 s 以上加工随着认知能力增强估计时距越长, 听觉时距长于视觉时距, 这意味着 2~3 s 以下与以上加工机制不同。Droit-Valet 和 Hale (2019)在另一项研究中考察了年龄(5 岁、8 岁及成年人)和视听通道对时距两分任务加工(4.0~8.0 s)的影响, 同时用神经心理学测验评定了儿童和成年人的一般认知能力, 结果发现听觉刺激时距判断明显长于视觉刺激时距, 尤其对于年轻人更加明显, 进一步回归分析发现个体工作记忆能力是预测时间歪曲程度的最大变异源。也有研究分别探讨视听通道与时距长度或者认知能力与时距长度对时距加工的交互影响。譬如, Noulhiane 等(2009)要求被试完成 1~5.5 s 和 1~10 s 视听时距复制, 结果发现, 对于视觉通道而言, 两个系列时距的复制结果转折分界区域均在 3 s 左右; 对于听觉通道而言, 1~5.5 s 系列时距复制分界区域大约在 3 s, 而 1~10 s 系列时距复制分界区域倾向在 5 s左右, 这意味着不管何种通道, 3 s 以下与以上时距加工机制存在差异。Murai 和

Yotsumoto (2016)在另一项研究中采用时距复制任务考察了视听通道和时距长度(0.4~0.6 s 和 2~3 s)对时距知觉中心化趋势(高估短时距、低估长时距)的影响，结果表明对于 2~3 s 时距复制的中心化趋势是一种通道特异性机制，而通道特异性机制和跨通道非特异性机制均对 0.4~0.6 s 目标时距复制的中心趋势有贡献。Cester 等(2017)在一项研究中调查了算术困难能力与复制不同长度时距的能力的关系以探讨算术困难儿童在加工较长时距是否存在削弱，结果支持存在两种计时机制假说。上述研究为 2~3 s 分界区域观点提供了直接的因果性证据。其二，通过某种特殊状态(施加某磁场、某种电刺激于某皮层区域和皮层下结构)或者筛选处于某种状态下的被试(脑损伤)和目标时距对时距加工的交互效应来推断分界区域。譬如，Kagerer 等(2002)以脑损伤患者为被试，要求被试复制 1~5.5 s 目标时距，结果发现目标时距长度和患者组别交互作用，大脑半球前部至中央回损伤患者 3 s 以上复制曲线平均斜率较低，较其他组被试有较大程度低估。Koch 等(2007)采用经颅磁刺激技术在对被试的左、右侧小脑及右背外侧前额皮层进行抑制的过程中，要求被试完成短系列时距(0.4~0.6 s)和长系列时距(1.6~2.4 s)复制任务，结果发现抑制小脑复制短时距受影响，而抑制右背外侧前额皮质复制长时距受影响。Yin 等(2019)采用经颅直流电刺激技术干预了被试右背外侧前额叶，要求被试完成短系列时距(0.4~0.6 s)和长系列时距(1.6~2.4 s)的时距两分任务，结果发现仅影响了长系列时距两分任务。上述研究证据均发现了 2~3 s 以下与以上加工的神经基础不同，为 2~3 s 为分界区域提供了间接的因果性证据。其三，直接记录不同长度时距加工中脑电自发电位、诱发电位及脑区激活和功能连接等来推断分界区域。譬如，Elbert 等(1991)采用脑电技术记录了被试在复制 1 s、2 s、3 s、4 s、6 s 及 8 s 目标时距中诱发的脑电时程特征，结果支持 3~4 s 以下与以上加工的电生理学基础不同。Chen 等(2015)和 Yu 等(2017)相继采用脑电图技术对保持在工作记忆中的 1~4 s 视听时距的神经振荡特点进行了考察，结果发现 2~3 s 以下和以上时距工作记忆表征的神经振荡基础不同。Pfeuty 等(2019)进一步采用脑电图技术对 3 s、5 s 及 7 s 视时距复制阶段的运动辅助区域激活的时程特征以及其他皮层区域的功能连接进行了考察，结果发现在数秒时距的复制过程中均表现出相似的运动辅助区域与前额–脑岛网络的激活模式。Lewis 和 Mall (2003b)采用核磁共振技术探讨了 0.6 s 和 3 s 视时距辨别中激活脑区差异，结果发现大量脑区在两类时距加工中均出现激活，但激活模式仍然存在差异。Morillon 等(2009)的一项核磁共振研究发现运动系统与默认模式网络分别参与 2 s 以下和 2 s 以上的时距加工。上述研究均发现了 2~3 s 以下与以上加工的相关神经活动不同，为 2~3 s 是分界区域提供了间接的相关性证据。

综上所述，以往研究表现出两个特点：其一，为自动化计时系统和认知控制调节计时系统的分离提供新证据，但是对于两大计时系统的分界区域并没有着重关注，即对于 1/3~1 s 的过渡区间没有给出关键性证明。譬如, Rammsayer 和 Lima (1991)、Rammsayer 和 Ulirich (2011)、Rammsayer 等(2015)、Rammsayer 和 Manichean(2018)和尹华站等(2017)从双任务范式和视听通道差异的角度探讨了感觉自动计时系统与认知控制计时系统的分离，所用目标时距为 50 ms (100 ms)和 1s。然而, Rammsayer 和 Ulrich (2005)的研究采用双任务范式，所用目标时距为 100 ms 和 1 s，结果发现次要任务对短时距和长时距加工的影响一致，这意味着不支持两种计时系统假说。但是 Rammsayer 和 Ulrich (2005)的研究中采用的被试内设计带来的迁移效应以及跨通道干扰的有效性均有可能导致非时间任务对 100 ms 和 1 s 加工的影响效果存疑。此外，上述 5 项神经科学的研究也仅是表明不同长度时距加工的神经相关活动不同，无法为两种计时系统的存在提供直接证据。研究发现，250~500 ms 可能是感觉自动化机制向认知控制机制的过渡区间(Buonomano et al., 2009)，还有研究发现随着加工时距增加，时间加工是从自动化加工向控制性加工的渐变过程(Rammsayer et al., 2015; Rammsayer & Manichean, 2018; Röhricht et al., 2018)。据此推测之所以大量研究者并没有执着给予两种计时系统的分界区域关键证明，可能是这些研究者认为两种计时系统不存在明显的界限，而是会在某一过渡区内以此消彼长的方式对人类计时起作用。

其二，为时距知觉和时距估计的分离提供了各类新证据，但是这些不同类别证据基于的原理

不同, 佐证力度也会不同。最为直接的证据来自于行为学研究。Szelag 等(2002)、Ulbrich 等(2007)、尹华站等(2016)及 Murai 和 Yotsumoto (2016)相继考察了时距长度、呈现通道及认知能力(工作记忆能力)对时距加工的影响, 结果发现时距长度与通道、认知能力与时距长度均存在交互效应, 进一步做简单效应分析可知, 2~3 s 以下加工无视听通道效应, 而 2~3 s 以上加工, 听觉时距长于视觉时距。2~3 s 以下加工无认知能力效应, 而 2~3 s 以上加工, 认知能力强的个体较认知能力弱的个体复制时距更长, 这在 Droit-Volet 和 Hale (2019)研究结果也得到部分印证。当然, Cester 等(2017)发现算术困难个体在 0.5~1.5 s 系列和 4~14 s 系列加工中的不同表现也为 2~3 s 分界区域提供必要性证据。然而, 值得关注的是神经科学研究仅能提供间接证据或者辅助性证据。一部分神经科学研究可以提供脑神经活动与时距加工的因果关系, 譬如, Koch 等(2007)的经颅磁研究和 Yin 等(2019)的经颅直流电刺激研究。这类研究可以发现某些特定脑区活动模式对 2~3 s 以下和以上加工的选择性影响, 为 2~3 s 分界区域从神经层面基础提供因果性证据。另一部分研究只能提供脑神经活动与时距加工的相关关系, 譬如 Lewis 和 Miall (2003b)的脑成像研究、Elbert 等(1991)脑电研究。这类研究可以发现 2~3 s 以下和以上加工中不同的神经活动, 仅能为 2~3 s 分界区域从神经层面提供相关性证据。

3.2　TPI 视角下时间窗口的证据介评

据以往观点可知, 从数十毫秒至数秒之间的时间参数主要是指构建独立心理事件以及将这些事件整合为一个单元的时间限度, 平均大约为 20~60 ms (Pöppel, 1997, 2009)和 2~3 s (Fraise, 1984; Pöppel, 1997, 2009)。下文将首先介绍这些时间参数的证据, 然后再对相应证据进行简评。以往研究证据主要集中在时序知觉阈限(threshold of temporal order perception)、感觉运动同步(Montessori synchronization)、主观节奏(subjective rhythmic)、言语行为(speech actions)、知觉逆转(reversals of perception)、返回抑制(inhibition of return)及失匹配负波(Mismatch negativity)等研究领域。时序知觉阈限是指个体将两个相继刺激知觉为先后顺序刺激的最短时间(Pöppel, 1994)。初级整合单元时间窗口的思想被提出以后, 时序知觉阈限研究结果支持了这一时间窗口大约处于 20~60 ms 之间(Bao et al., 2011; Bao et al., 2013; Liang et al., 2015)。感觉运动同步是指首先给被试呈现一定规律的重复性刺激(如节拍), 要求被试按照指导语打节拍, 并与刺激保持同步(Pöppel, 2009)。研究发现, 被试能够对间隔(stimulus onset asynchronies, SOA)短于 3 s 的刺激序列进行相对准确的同步反应, 但一旦刺激间隔长于 3 s, 被试对刺激序列的反应则显得缺乏规律(Pöppel, 2009)。Repp 和 Doggett (2007)发现随着 SOA 增加到 2500 ms, 打节拍时点的变异性线性增加, 之后出现了一个更陡峭的增长, 暗示加工机制发生了质变。然而, 证据表明, 被试在完成节拍任务中所表现出的趋势可能是方法特异性的。van der Wel 等(2009)要求被试在节拍器的作用下, 在两个目标位置之间来回移动定位销, 时间间隔范围为 370 ms 至 1667 ms。被试打节拍往往提前约 20 ms 发生, 但这种趋势在整个持续时间范围内大致保持不变。Matsuda 等(2015)研究发现, 随着 SOA 增加, 行为控制没有发生质变, 在更长 SOA 下被试会从预期拍打切换到反应拍打的趋势表明在准确性和难度之间进行权衡, 即当反应计时的时间误差不是显著大于预期计时的时间误差时, 自动地切换到认知需求更低的反应性拍击。以往研究认定的 2~3 s 发生质变的证据主要是从预期反应(预期拍打)向被动反应(反应拍打)的转化, 但是这种被动反应可以通过指导语得以消除, 这极大破坏了 2~3 s 时间窗口的解释力(Broersen et al., 2016)。

主观节奏是指用节拍器呈现稳定的节拍, 要求被试在心理上规律性地重读节拍, 以创造主观节奏(Pöppel, 2009)。Szelag 等(1996)在研究中以每秒 1 个到 5 个的速率呈现节拍, 然后要求被试通过心理上突出节拍将其整合到 2 到 3 个或更多单元中以创建主观节奏, 并要求年老组和年轻组被试报告在不同呈现速率下可以将多少节拍整合到单个节奏单元中。结果发现, 对于年轻组, 平均整合区间是 1351 ms, 对于年老组, 平均整合区间是 1751 ms。然而, 整合区间随节拍频率的增加而变短, 当频率为每秒 1 个节拍时, 整合区间约 2900 ms, 当频率为每秒 5 个节拍时, 整合区间约 1028 ms。Szelag 等(1997)以各种脑损伤患者和健康成年人为被试重复了该实验, 并绘制了整合时距与节拍频率的关系图。结果发现, 对于除布洛卡失语症

患者以外的对照组和所有类别的患者，整合时距在节拍频率为 1 次每秒时达到峰值，约为 2.4 s，并在节拍频率为 5 次每秒时下降至约 1.1 s。这种趋势与 Szelag 等(1996)发现的趋势相似。其他研究也发现了类似的结果。Baath (2015)发现，在 1500 ms 或更长时间的 SOA 中，不到一半试次会出现主观节律化，但是存在较大个体间差异。虽然目前该领域研究数量不多，但仍然得出一些结论：主观节奏界限是大约 1500 ms 的 SOA，但具有较大个体差异且随节拍频率而变化，这比通常的 2~3 s 时间窗口要短(Elhorst et al., 2017; Pöppel, 2009; Wittmann, 2011)。

言语行为是指人类在日常交往中通过语言等媒介进行交流的过程(Pöppel, 2009)。言语行为单元包括音素或音节、单词、短语、句子、段落等。Roll 等人(2012)研究发现，被试在学习完单词列表之后，如果无法进行练习，在呈现后的 2~3 s 内会出现大量遗忘。Roll 等人(2013)认为在阅读一个单词时，该单词就是一种提示，提示在短期记忆中搜索与其相符的语法规则。如果该目标词出现时间不超过 3 s，则可以找到目标词，但是如果在更长时间之前出现，找到目标词的可能性则比较小，读者必须在 2~3 s 窗口之外搜索其语义表征。这再次支持 2~3 s 时间窗口假设。还有研究发现，行为单元的持续时距的集中量数(平均数、中位数、众数)也为 2~3 s。譬如，Gerstner 和 Cianfarani (1998)秘密拍摄了人们饮食并分析了咀嚼的持续时间。结果发现平均持续时间为 2.91 s，但众数约为 1~1.5 s，呈偏态分布，并且观察到最长的咀嚼持续时间长达 16.5 s。然而，迄今这一结果的有效性和普遍性仍被怀疑。Po 等(2011)进行了一项关于咀嚼持续时间的研究，发现平均持续时间为 13 s，95%置信区间为 2.7 s 和 34.9 s，平均值显然超出了 3 s。这一结果与 Gerstner 和 Cianfarani (1998)获得的结果之间的差异可能是因为选择了不同的标准来界定咀嚼爆发的边界。Gerstner 和 Cianfarani (1998)将停顿时间定义为 1.5 s 或更长时间，但 Po 等将其定义为 2 s 或更长时间。据此标准，以 1.6 s 间隔分开的两个咀嚼事件在 Po 等研究中被界定为单次爆发，而在 Gerstner 和 Cianfarani (1998)的研究中，却会被界定为两次爆发。然而，行为持续时间取决于将行为划分为单元的标准，例如暂停长度。因此，2~3 s 时间窗口的证据仍需要保持谨慎的质疑。

知觉逆转是指人类在知觉客体时会出现从客体一个侧面的感知到另一个侧面感知的转移或者分别感知呈现给两只眼不能融合的两个客体，感知倾向于在一个客体和另一个客体之间来回移动(Pöppel, 1997, 2009)。这两种情况下时间整合所需大约 3 s (Wittmann, 2011)。Kogo 等(2015)采用 Rubin (1921)的两可图形(既可以看作一个面孔，也可以看作一个花瓶)，发现平均逆转间隔为 5.5 s。Kogo 等(2015)还采用了异常透明度图，发现平均反转间隔为 7.5 s。另外一些研究发现知觉逆转的潜在机制在某种程度上与刺激呈现通道有关，甚至与特定刺激类型有关。Wernery 等(2015)比较了 Necker 立方体的知觉逆转与听觉刺激的逆转，在研究中重复呈现听觉刺激“au”和“gen”，在德语中可以被听作“au gen” (eyes)，也可以听作“gen au” (exact)。结果发现，被试在视觉和听觉刺激的逆转率之间没有显著相关。这支持视觉和听觉逆转是由不同的机制决定的。综合来看，Necker 立方体的平均知觉时距约为 5 s，这超出 3 s 的上限。最重要的是，2~3 s 时间窗假设并不能解释不同模糊图片之间和通道之间平均逆转时间的差异。一些研究结果表明，适应在知觉逆转中发挥作用：简单来说，一种编码神经元发生了适应，从而导致在某个时点上，比其他神经元激活水平更低(Gomez et al., 1995)。因此，知觉逆转的时间窗口内的加工反映的不是时间整合过程，而是恰好发生在该时间窗上的视觉适应。

返回抑制是指对原先注意过的物体或位置进行反应时所表现出的滞后现象。采用突然变暗或变亮的方法，对空间某一位置进行线索化，会使对紧接着出现在该位置上的靶刺激的反应加快，即产生易化作用。如果线索和靶子呈现的时间间隔大于 300 ms，则易化作用会被抑制作用取代，对线索化位置上靶刺激的反应慢于非线索化位置，这种抑制作用被称为返回抑制(Samuel & Kat, 2003)。Pöppel (2009)认为抑制期的持续时间约为 3 s。Samuel 和 Kat (2003)回顾了返回抑制的大量文献发现，当 SOA 短于 300 ms 时会出现易化作用，而在他们的另一项研究发现 SOA 超过 3 s 时不会出现抑制作用。Dodd 和 Pratt (2007)呈现了一系列刺激，在这一系列刺激的多个位置之后会出现靶刺激，要求被试尽快探测这一靶刺激，并按键反

应。结果发现, 返回抑制在 SOA 高达 6 s 时也会出现。Dodd 等(2009)针对以往研究仅在视觉搜索任务中发现了返回抑制, 所以采用视觉搜索任务、回忆任务、愉悦度评定任务及不同条件下的自由观察任务等多种任务考察返回抑制的出现特点, 结果发现返回抑制仅出现在视觉搜索任务中, 而在其他任务均出现与返回抑制相反的效应。这也得到多项研究结果的印证(Michalczyk & Bielas, 2019; Phillmore & Klein, 2019; Souto et al., 2018; Wilson et al., 2016), 因此, 研究者推断返回抑制属于任务特定现象。

失匹配负波是由 Näätänen 等人于 1978 年首先提出并证实的一种由随机出现在不断重复的“标准”刺激序列中的“偏差”刺激所诱发的听觉诱发电位成分, 后来也被应用到系列时距加工中对缺失时距加工所诱发出来的脑电反应测量指标。Pöppel (2009)曾经对一项研究中发现的在 SOA 等于 3 s 时所诱发的失匹配负波平均波幅最大的结果作出推断, 认为对于感觉通道、对于来自于内外部环境的信息而言, 3 s 可能是较其他时距更为敏感的时距, 这被作为存在 3 s 整合时间窗口的有力证据。然而, 这项研究虽然发现在 SOA 为 3 s 时诱发最大的失匹配负波波幅, 但是同样也报告了 SOA 为 9 s 时发现了明显的失匹配负波。Sams 指出失匹配负波的最高波幅出现在 SOA 为 3 s 的条件取决于偏差刺激之间的时距。Wang 等人(2015)采用 SOA 介入 1.5~6 s 之间的听觉刺激并记录了相关的 ERP 成份, 通过对四个电极点的结果分析发现, 其中一个电极在 1.5 s 与 3 s 之间以及 4.5 s 与 6 s 之间均发现显著差异, 而其余三个电极或者随着 SOA 增加失匹配负波波幅显示出下降的趋势或者没有明显趋势。总体来看, 这项研究的失匹配负波出现在 SOA 介入 9~12 s 之间, 并不支持 3 s 为时间整合窗的假设。总之, 目前对于失匹配负波的诱发是否真的反映了 3 s 的“主观现在”的时间整合过程仍不清楚(Wang, Bao, et al., 2016; Wang, Lin, et al., 2016)。

综上所述, 2~3 s 以内的知觉过程不会被认为涉及整合加工。Fairhall 等人(2014)如此论证: 根据时间窗的逻辑, 大脑应该可以在单一的时间整合窗内整合信息, 即使信息的顺序被扰乱, 但是当更长时间尺度的信息顺序被打乱时, 整合变得困难。在这项研究中, 研究者打乱了 800~12800 ms 范围内的电影片段(仅限视频)。被试评定了观看这些电影片段的难度等级, 结果发现, 与所有其他相邻窗口尺度之间的难度渐变相比, 1600 到 3200 ms 之间评定难度急剧增加。后来, 他们又在一项研究中, 采用包括 1200、2000、2800、3600 及 4400 ms 在内的时间窗口。结果发现, 在 2000 至 3600 ms 等时间窗口条件下评定的难度急剧增加, 而其他时间窗口的难度评定基本无变化。这两项研究说明 2~3 s 时间窗内的信息加工并不是自动化的。因此, 2~3 s 时间窗口内的信息加工并不一定就能构成“主观现在”, 因为“主观现在”至少包括三个特征: 2~3 s 时间窗口、时间整合及自动化加工。

4　进一步的思考

根据以往文献, 虽然关于数十毫秒至数秒之间时间参数的研究已取得一些成果, 但是三个问题仍需进一步思考: 其一, 关于 1/3~1 s 和 2~3 s 分界区域的思考; 其二, 关于 20~60 ms 和 2~3 s 时间窗口的思考; 其三, 关于分界区域与时间窗口联系与区别的思考。

4.1　关于 1/3~1 s 和 2~3 s 分界区域的思考

基于 TIP 视角, Münsterberg (1889)、Michon (1985)及 Lewis 和 Mall (2003a)提出 1/3~1 s 是感觉自动化计时系统和认知控制计时系统的分界区域, 而 Fraisse (1984)提出的 2~3 s 将时距加工区分为自动化的时距知觉和依赖于记忆重构的时距估计。表面来看, Fraisse (1984)的 2~3 s 观点与前述三人 1/3~1 s 观点出现了不一致, 即 1 s 至 2~3 s 之间的时距加工究竟是自动化的, 还是受认知控制调节? 这种分歧的原因很可能是理论适用范围不同所致。Münsterberg (1889)、Michon (1985)及 Lewis 和 Miall (2003a)的理论观点主要是从信息加工论角度来阐述分界区域(1/3~1 s)以下加工不需要认知资源, 而分界区域(1/3~1 s)以上加工才需要认知资源。而根据 Fraisse (1984)的观点可知, 该模型主要用来解释时间因素对非时间信息整合加工的影响, 这一过程包括两类加工: 其一, 具体事件内容的加工; 其二, 自动化整合加工。由此可见, 对于 2~3 s 以下具体事件内容的加工还需要认知资源, 只是整合过程是自动化的。那么对于 2~3 s 以下时距信息加工又如何用 Fraisse (1984)观点解释呢? 难道 2~3 s 以下时距加工除了对本身时距信息(包括早期的时间信号刺激的加工)加

工之外，还存在一个自动整合时间信息的时间限度？即使存在两个过程的假说成立，那也只能说明 2~3 s 以下时距信息需要认知资源参与之外，还存在一个对 2~3 s 以内时间窗口的时距信息自动整合过程。根据以往对 2~3 s 分界区域证据来看，神经科学研究不足以提供直接证据暂不作分析，而行为学证据主要集中在认知能力效应和通道效应在 2~3 s 以下和以上加工中的选择性出现。2~3 s 以下时距加工不随认知能力的变化而变化，可能归咎于一般个体的工作记忆容量足够提供 2~3 s 时距加工的认知资源，所以时距加工效应不受认知能力调节；至于 2~3 s 以下时距加工不随通道而变化，可能归咎于跨通道非特异性机制在起作用(Rammsayer & Troche, 2014)。至于 2~3 s 以上时距加工的认知能力效应和通道效应可以归咎于超出了个体工作记忆容量(所以受认知资源调节)以及通道特异性机制(该机制受制于认知资源调节，听觉通道较视觉通道更容易保持认知资源的投入，这是感觉自动化计时的通道特异性机制不同)的原因。同时需要关注的是，Lewis 和 Miall (2003a)所提出的自动化计时系统和认知控制计时系统不仅是从 1 s 的分界点，而且从运动计时和时距加工可预测等角度进行区分，所以 1 s 分界点未得到关键性证据支持。基于以往研究发现随着长度增加，时距加工从自动加工向控制加工转变(Rammsayer et al., 2015; Rammsayer & Manichean, 2018; Röhricht et al., 2018)以及以往观点(陈有国, 2010; 陈有国 等, 2007)，课题组尝试提出时距分层加工机制假说：300~500 ms 以下为感觉计时加工，以自动化加工为主，具有通道特异性(基于感觉通道属性)；300~500 ms 至 2~3 s 为时距知觉加工，受工作记忆容量调控，以控制性加工为主，具有跨通道非特异性；2~3 s 以上为时距记忆加工，受长时记忆和工作记忆调控，以控制性加工为主，具有通道特异性机制(基于认知资源属性)。

4.2 关于 20~60 ms 和 2~3 s 时间窗口的思考

基于 TPI 视角，Pöppel (1997, 2009)提出了时间知觉周期层级模型，该模型假定的 20~60 ms 初级整合单元可以为信息加工整合基本心理事件，而 2~3 s 的高级整合单元将离散的基本心理事件整合为基本知觉单元。根据 Pöppel (1997, 2009)的观点，人类加工所有来自环境的信息流均可以通过两个固定时间窗口内的加工完成。然而，Pöppel (1997, 2009)对于时间窗口的假定遭到大量证据质疑。研究者认为时间窗口并不是固定的，受特定任务的调节(Hasson et al., 2015)。研究发现，运动信息整合的时间窗口依赖特定任务所需时间，上限大约为 2~3 s (Burr & Santoro, 2001)。此外，Pöppel (1997, 2009)对于 20~60 ms 初级整合单元与 2~3s 高级整合单元是否能处理所有当前的非时间信息加工流尚未确认。以两个毫秒级窗口的时间整合为例，一种是在 150~300 ms 的时间窗口上整合输入的声音，产生听觉，另一种是跨通道同步，产生对一个人讲话场景的视听感知，加工时间小于 300 ms。这两个时间窗与 20~60 ms 或者 2~3 s 的时间窗有什么关系？如果说 20~60 ms 初级整合单元仅是整合基本心理事件，那么听觉的产生过程算是一个独立心理事件，还是包含了多个心理事件呢？如果听觉产生过程算成多个基本心理事件，那么多个基本心理事件的整合与 2~3 s 的高级整合单元又是什么关系呢？因此，我们是否可以假定除了 Pöppel (1997, 2009)所说的两个时间窗口之外，还存在多个层级的时间窗口，这也得到一些研究结果的支持(Cheng, Manfredi, Dammann, & Bensmaia, 2013)。总之，未来关于时间窗口的性质及其与当前认知加工的关系可以从理论和实证证据层面加以探讨(Hasson et al., 2015; Notter et al., 2019; Wang, Bao, et al., 2016; Wang et al., 2015; Wang, Lin, et al., 2016; Zhao et al., 2018)。

4.3 关于分界区域与时间窗口联系与区别的思考

时间因素在人类的感知世界中起着重要的作用，那么不同长度的时间又会如何起作用呢？基于此，以往研究提出了分界区域和时间窗口两个重要概念。这两个概念既有联系也有区别，表现在前提视角、理论内涵、实证证据及理论应用等四个方面。首先，从两个概念的前提视角来看，分界区域是基于时间信息加工的角度，而时间窗口是基于信息加工的时间特性的角度。两个视角既有联系也有区别(Berle & Bonnet, 1999)，时间必定依附于一定事件属性，加工时间离不开对标记时间信号的事件进行加工，反之亦然，因而 TIP 与 TPI 似一枚硬币正反面各有侧重点(尹华站, 2013)。其次，从理论内涵来看，分界区域是指加工不同长度的时距信息在某一区域以下与以上的加工机制不同，而时间窗口是指对非时间信息加工

过程存在一个时间限度(尹华站 等, 2010; Pöppel et al., 2011)。分界区域一般指从计时开始至该区域之间的时间区间[0, Δt], 而时间窗口一般指非时间信息加工过程中的某个时间区间片段[t, t+Δt]。再次, 从实证证据来看, 分界区域与时间窗口的研究任务和研究逻辑是不同的。前者主要采用外显计时任务, 譬如时间复制任务、时间产生任务及时间辨别任务等, 而后者主要采用内隐计时任务, 譬如感觉运动同步任务、节奏重音任务及知觉逆转任务等。前者主要通过考察不同条件下的时距加工结果模式来推断分界区域, 而后者主要是通过考察不同条件下的特定任务(感觉运动同步任务等)的表现来推断时间窗口。最后, 从理论的应用来看, 分界区域的发现可以作为某些特定人群在认知功能的诊断指标之一(Mohan, & Rajashekhar, 2019; Tokushige et al., 2018), 而时间窗口的发现可以应用到多任务操作领域(Wang et al., 2018)。当然, 两个概念除了在上述角度表现出不同之外, 也存在研究主题均涉及时间加工(外显加工和内隐加工)等共同点。总之, 两种视角在未来研究中还会继续相互借鉴, 共同促进时间作用机制探索。

参考文献

陈有国. (2010). *时间知觉自动与受控加工的神经机制* (博士学位论文), 西南大学, 重庆.

陈有国, 彭春花, 张志杰, 黄希庭. (2008). 自动与控制计时系统脑机制研究. *西南大学学报(社会科学版), 34*(4), 9–14.

陈有国, 张志杰, 黄希庭, 郭秀艳, 袁宏, 张甜. (2007). 时间知觉的注意调节: 一项 ERP 研究. *心理学报, 39*(6), 1002–1011.

王余娟, 张志杰, 邹增丽. (2008). 时距估计长度效应的研究述评. *现代生物医学进展, 22*(12), 2560–2562+2531.

尹华站. (2013). 时间加工分段性研究述评. *心理科学, 36*(3), 743–747.

尹华站, 李丹, 陈盈羽, 黄希庭. (2016). 1~6 秒时距认知分段性特征. *心理学报, 48*(9), 1119–1129.

尹华站, 李丹, 陈盈羽, 黄希庭. (2017). 1s 范围视听时距认知的分段性研究. *心理科学, 40*(2), 321–328.

尹华站, 李祚山, 李丹, 黄希庭. (2010). 时距加工“长度效应”研究述评. *心理科学进展, 18*(6), 887–891.

张志杰, 刘强, 黄希庭. (2007). 时间知觉的神经机制——EEG 时频分析的探索. *西南大学学报(自然科学版), 29*(10), 152–155.

张志杰, 袁宏, 黄希庭. (2007). 不同时距加工机制的比较: 来自 ERP 的证据(Ⅰ). *心理科学, 29*(1), 87–90.

Baath, R. (2015). Subjective rhythmic: A replication and an assessment of two theoretical explanations. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *33*(2), 244–254.

Bao, Y., Sander, T., Trahms, L., Koppel, E., Lei, Q., & Zhou, B. (2011). The eccentricity effect of inhibition of return is resistant to practice. *Neuroscience Letters*, *500*(1), 47–51.

Bao, Y., Szymaszek, A., Wang, X., Oron, A., Koppel, E., & Szelag, E. (2013). Temporal order perception of auditory stimuli is selectively modified by tonal and non-tonal language environments. *Cognition*, *129*(3), 579–585.

Broersen, R., Onuki, Y., Abdelgabar, A. R., Owens, C. B., Picard, S., Willems, J., … Zeeuw, C. I. D. (2016). Impaired spatio-temporal predictive motor timing associated with spinocerebellar ataxia type 6. *PLoS ONE, 11*(8), e0162042.

Buonomano, D. V., Bramen, J., & Khodadadifar, M. (2009). Influence of the interstimulus interval on temporal processing and learning: testing the state-dependent network model. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1525), 1865–1873.

Berle, B., & Bonnet, M. (1999). What's an internal clock for?: From temporal information processing to temporal processing of information. *Behavioural Processes*, *45*(1–3), 59–72.

Burr, D. C., &Santoro, L. (2001). Temporal integration of optic flow, measured by contrast and coherence thresholds. *Vision Research, 41*(15), 1891–1899.

Cester, I., Mioni, G., & Cornoldi, C. (2017). Time processing in children with mathematical difficulties. *Learning and Individual Differences*, *58*, 22–30.

Chen, Y. G., Chen, X., Kuang, C. W., & Huang, X. T. (2015). Neural oscillatory correlates of duration maintenance in working memory. *Neuroscience*, *290*, 389–397.

Dodd, M. D., & Pratt, J. (2007). The effect of previous trial type on inhibition of return. *Psychological Research*, *71*(4), 411–417.

Dodd, M. D., van der Stigchel, S., & Hollingworth, A. (2009). Novelty is not always the best policy: Inhibition of return and facilitation of return as a function of visual task. *Psychological Science*, *20*(3), 333–339.

Adroit-Volet, S., & Hale, Q. (2019). Differences in modal distortion in time perception due to working memory capacity: a response with a developmental study in children and adults. *Psychological Research*, *83*(7), 1496–1505.

Elbert, T., Ulrich, R., Rockstroh, B., & Lutzenberger, W. (1991). The processing of temporal intervals reflected by CNV-like brain potentials. *Psychophysiology*, *28*(6), 648–655.

Elhorst, J. P., Heijnen, P., Samarina, A., & Jacobs, J. P. A. M. (2017). Transitions at different moments in time: a spatial probit approach. *Journal of Applied Econometrics, 32*(2), 422−439.

Fairhall, S. L., Albi, A., & Melcher, D. (2014). Temporal integration windows for naturalistic visual sequences. *PLoS ONE*, *9*(7), e102248.

Frailness, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review of Psychology*, *35*(1), 1–37.

Gerstner, G. E., & Cianfarani, T. (1998). Temporal dynamics of human masticatory sequences. *Physiology & Behavior*, *64*(4), 457–461.

Gomez, C., Argandona, E. D., Solier, R. G., Angulo, J. C., & Vazquez, M. (1995). Timing and competition in networks representing ambiguous figures. *Brain and Cognition*, *29*(2), 103–114.

Hasson, U., Chen, J., & Honey, C. J. (2015). Hierarchical process memory: Memory as an integral component of information processing. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(6), 304–313.

Kagerer, F. A., Wittmann, M., Szelag, E., & Steinbüchel, N. V. (2002). Cortical involvement in temporal reproduction: evidence for differential roles of the hemispheres. *Neuropsychologia*, *40*(3), 357–366.

Koch, G., Oliveri, M., Torriero, S., Salerno, S., Gerfo, E. L., & Caltagirone, C. (2007). Repetitive TMS of cerebellum interferes with millisecond time processing. *Experimental Brain Research*, *179*(2), 291–299.

Kogo, N., Hermans, L., Stuer, D., van Ee, R., & Wagemans, J. (2015). Temporal dynamics of different cases of bi-stable figure-ground perception. *Vision Research*, *106*, 7–19.

Lewis, P. A., & Mall, R. C (2003a). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: Evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, *13*(2), 250–255.

Lewis, P. A., & Mall, R. C. (2003b). Brain activation patterns during measurement of sub- and supra-second intervals. *Neuropsychologia*, *41*(12), 1583–1592.

Liang, W., Zhang, J., & Bao, Y. (2015) Gender-specific effects of emotional modulation on visual temporal order thresholds. *Cognitive Processing*, *16*(1), 143–148.

Matsuda, S., Matsumoto, H., Furubayashi, T., Hanajima, R., Tsuji, S., Ugawa, Y., & Terao, Y. (2015). The 3-second rule in hereditary pure cerebellar ataxia: A synchronized tapping study. *PLOS One*, *10*(2), e0118592.

Michalczyk, L., & Bielas, J. (2019). The gap effect reduces both manual and saccadic inhibition of return (IOR). *Experimental Brain Research, 237*(7), 1643–1653.

Mic hon, J. A. (1985). The compleat time experiencer. In J. A. Mic hon & J. L. Jackson (Eds.), *Time, mind, and behavior* (pp.20–52). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

Mitani, K., & Kashino, M. (2018). Auditory feedback assists post hoc error correction of temporal reproduction, and perception of self-produced time intervals in subsecond range. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1–8.

Mohan, K. M., & Rajashekhar, B. (2019). Temporal processing and speech perception through multi-channel and channel-free hearing aids in hearing impaired. *International Journal of Audiology, 58*(12), 923–932.

Montemayor, C., & Wittmann, M. (2014). The varieties of presence: Hierarchical levels of temporal integration. *Timing & Time Perception*, *2*(3), 325–338.

Morillon, B., Kell, C. A., & Giraud, A.-L. (2009). Three stages and four neural systems in time estimation. *Journal of Neuroscience*, *29*(47), 14803–14811.

Münsterberg, H. (1889). Beiträge zur experimentellen Psychologie: Heft 2 [Contributions to Experimental Psychology, Issue 2]. Freiburg, Germany: Akademische Verlagsbuchhandlung von J. C. B. Mohr.

Murai, Y., & Yotsumoto, Y. (2016). Timescale- and sensory modality-dependency of the central tendency of time perception. *PLoS One*, *11*(7), e0158921.

Nani, A., Manuello, J., Liloia, D., Duca, S., Costa, T., & Cauda, F. (2019). The neural correlates of time: A meta-analysis of neuroimaging studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *31*(12), 1796–1826.

Notter, M. P., Hanke, M., Murray, M. M., & Geiser, E. (2019). Encoding of auditory temporal gestalt in the human brain. *Cerebral Cortex, 29*(2), 475–484.

Noulhiane, M., Pouthas, V., & Samson, S. (2009). Is time reproduction sensitive to sensory modalities? *European Journal of Cognitive Psychology*, *21*(1), 18–34.

Pfeuty, M., Monfort, V., Klein, M., Krieg, J., Collé, S., Colnat-Coulbois, S., Maillard, L. (2019). Role of the supplementary motor area during reproduction of supra-second time intervals: An intracerebral EEG study. *NeuroImage*, *191*, 403–420.

Phillmore, L. S., & Klein, R. M. (2019). The puzzle of spontaneous alternation and inhibition of return: How they might fit together. *Hippocampus, 29*(8), 762–770.

Po, J. M. C., Kieser, J. A., Gallo, L. M., Tésenyi, A. J., Herbison, P., & Farella, M. (2011). Time-frequency analysis of chewing activity in the natural environment. *Journal of Dental Research*, *90*(10), 1206–1210.

Koppel, E. (1994). Temporal mechanisms in perception. *International Review of Neurobiology, 37*, 185–202.

Koppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*(2), 56–61.

Koppel, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1525), 1887–1896.

Koppel, E., & Bao, Y. (2014). Temporal windows as a bridge from objective to subjective time. In: D. Lloyd & V.

Arstila (Eds.), Subjective Time (pp. 241–261), MIT Press.

Koppel, E., 包燕, 周斌. (2011). “temporal windows” as logistical basis for cognitive processing. *心理科学进展*, *19*(6), 775–793.

Rammsayer, T. H. (2009). Effects of pharmacologically induced dopamine-receptor stimulation on human temporal information processing. *Neuroquantology*, *7*(1), 103–113.

Rammsayer, T. H., Borter, N., & Troche, S. J. (2015). Visual-auditory differences in duration discrimination of intervals in the subsecond and second range. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1–7.

Rammsayer, T. H., & Lima, S. D. (1991). Duration discrimination of filled and empty auditory intervals: Cognitive and perceptual factors. *Perception & Psychophysics*, *50*(6), 565–574.

Rammsayer, T. H., & Troche, S. J. (2014). In search of the internal structure of the processes underlying interval timing in the sub-second and the second range: A confirmatory factor analysis approach. *Acta Psychologica*, *147*, 68–74.

Rammsayer, T., & Manichean, S. (2018). Visual-auditory differences in duration discrimination depend on modality-specific, sensory-automatic temporal processing: Converging evidence for the validity of the Sensory-Automatic Timing Hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *71*(11), 2364–2377.

Rammsayer, T., & Ulrich, R. (2005). No evidence for qualitative differences in the processing of short and long temporal intervals. *Acta Psychologica*, *120*(2), 141–171.

Rammsayer, T., & Ulrich, R. (2011). Elaborative rehearsal of nontemporal information interferes with temporal processing of durations in the range of seconds but not milliseconds. *Acta Psychologica*, *137*(1), 127–133.

Repp, B. H., & Doggett, R. (2007). Tapping to a very slow beat: A comparison of musicians and nonmusicians. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *24*(4), 367–376.

Röhricht, J., Jo, H.-G., Wittmann, M., & Schmidt, S. (2018). Exploring the maximum duration of the contingent negative variation. *International Journal of Psychophysiology*, *128*, 52–61.

Roll, M., Gosselke, S., Lindgren, M., & Horne, M. (2013). Time-driven effects on processing grammatical agreement. *Frontiers in Psychology*, *4*, 1–8.

Roll, M., Lindgren, M., Alter, K., & Horne, M. (2012). Time-driven effects on parsing during reading. *Brain and Language*, *121*(3), 267–272.

Samuel, A. G., & Kat, D. (2003). Inhibition of return: A graphical meta-analysis of its time course and an empirical test of its temporal and spatial properties. *Psychonomic Bulletin & Review*, *10*(4), 897–906.

Souto, D., Born, S., & Kerzel, D. (2018). The contribution of forward masking to saccadic inhibition of return. *Attention Perception & Psychophysics, 80*(5), 1182–1192.

Stauffer, C. C., Haldemann, J., Troche, S. J., & Rammsayer, T. H. (2012). Auditory and visual temporal sensitivity: evidence for a hierarchical structure of modality-specific and modality-independent levels of temporal information processing. *Psychological Research*, *76*(1), 20–31.

Szelag, E., Kowalska, J., Rymarczyk, K., & Koppel, E. (2002). Duration processing in children as determined by time reproduction: Implications for a few seconds temporal window. *Acta Psychologica*, *110*(1), 1–19.

Szelag, E., Steinbuchel, N., Reiser, M., de Langen, E. G., & Poppel, E. (1996). Temporal constraints in processing of nonverbal rhythmic patterns. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *56*(1), 215–225.

Szelag, E., von Steinbüchel, N., & Koppel, E. (1997). Temporal processing disorders in patients with Broca’s aphasia. *Neuroscience Letters*, *235*(1–2), 33–36.

Tokushige, S.-I., Terao, Y., Matsuda, S., Furubayashi, T., Sasaki, T., Inomata-Terada, S., … Ugawa, Y. (2018). Does the clock tick slower or faster in Parkinson’s disease? – Insights gained from the synchronized tapping task. *Frontiers in Psychology, 9*, 1178–1186.

Ulbrich, P., Churan, J., Fink, M., & Wittmann, M. (2007). Temporal reproduction: Further evidence for two processes. *Acta Psychologica*, *125*(1), 51–65.

van der Wel, R. P. R. D., Sternad, D., & Rosenbaum, D. A. (2009). Moving the arm at different rates: Slow movements are avoided. *Journal of Motor Behavior*, *42*(1), 29–36.

Wang, L., Bao, Y., Zhang, J., Lin, X., Yang, L., Koppel, E., & Zhou, B. (2016). Scanning the world in three seconds: Mismatch negativity as an indicator of temporal segmentation. PsyCh Journal, *5*(3), 170–176.

Wang, L., Lin, X., Zhou, B., Koppel, E., & Bao, Y. (2015). Subjective present: a window of temporal integration indexed by mismatch negativity. Cognitive Processing, *16*, 131–135.

Wang, L., Lin, X., Zhou, B., Koppel, E., & Bao, Y. (2016). Rubberband effect in temporal control of mismatch negativity. *Frontiers in Psychology, 7*, e84536.

Wang, Y., Kirubarajan, T., Tharmarasa, R., Jassemi-Zargani, R., & Kashyap, N. (2018). Multiperiod coverage path planning and scheduling for airborne surveillance. *IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 54*(5), 2257–2273.

Wernery, J., Atmanspacher, H., Kornmeier, J., Candia, V., Folkers, G., & Wittmann, M. (2015). Temporal processing in bistable perception of the necker cube. *Perception*, *44*(2), 157–168.

White, P. A. (2017). The three-second “subjective present”:

A critical review and a new proposal. *Psychological Bulletin*, *143*(7), 735–756.

White, P. A. (2018). Is conscious perception a series of discrete temporal frames? *Consciousness and Cognition*, *60*, 98–126.

Wittmann, M. (2011). Moments in Time. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*(2), 41.

Yin, H. Z., Cheng, M., & Li, D. (2019). The right dorsolateral prefrontal cortex is essential in seconds range timing, but not in milliseconds range timing: An investigation with trans cranial direct current stimulation. *Brain and cognition*. *135*, e103568.

Yu, X., Chen, Y., Qiu, J., Li, X., & Huang, X. (2017). Neural oscillations associated with auditory duration maintenance in working memory. *Scientific Reports*, *7*(1), 5695.

Zhao, C., Zhang, D., & Bao, Y. (2018). A time window of 3 s in the aesthetic appreciation of poems. PsyCh Journal, *7*(31), 51–52.

The important time parameters and related evidences from dual perspectives of temporal information processing and temporal processing of information

YIN Huazhan[1,2,3], CUI Xiaobing[1,2], BAI Youling[1,2],
CAO Gege[1,2,3], DENG Jinxin[1,2,3], LI Dan[1,2]

([1] *School of Education Science, Hunan Normal University*; [2] *Cognition and Human Behavior Key Laboratory of Hunan Province, Hunan Normal University, Changsha* 410011, *China*)

([3] *Hunan Omen's Research Association, Changsha* 410011, *China*)

Abstract: Time is not only the object of human information processing, but also the factors that affect the processing of non-temporal information. The duration between tens of milliseconds and seconds is closely related to human life, for example, subjective timing, performance and speech activities. In this time range, 20~60 ms, 1/3~1 s and 2~3 s are the important time parameters concerned by researchers. It can be seen from the previous literature that whether these parameters really exist is still one of the major disagreements in the academic circle. Firstly, this paper introduces the important time parameters from the two perspectives of temporal information processing and temporal processing of information, Then, the evidence of 1/3~1 s and 2~3 s boundaries from the perspective of "temporal information processing" is reviewed in the fields of behavior, brain injury, pharmacology, EEG, brain imaging, trans cranial magnetic stimulation and trans cranial direct current stimulation, Then, from the perspectives of Montessori synchronization, subjective rhythmic, speech act, reversals of perception, inhibition of return and mismatch negativity, the paper reviews the evidence of 20~60 ms and 2~3 s time windows from the perspective of "temporal processing of information". On the one hand, future research should build a theoretical hypothesis based on the stronger explanatory power of the demarcation region and time window, on the other hand, it should clarify the relationship and difference between the demarcation region and time window.

Key words: temporal information processing, temporal processing of information, time parameters, boundary area, time window